

Fig. 5 a

Fig. 5 b

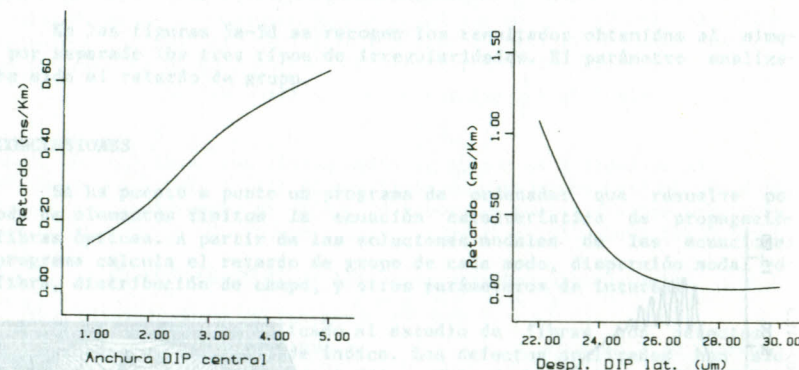


Fig. 5 c

Fig. 5 d

Fig.5 Efectos de las deformaciones en el perfil de una fibra multimodo sobre el retardo de grupo. La fibra esta definida por perfil de índice cuadrático con los parámetros  $\Delta = 0.013$ ,  $R = 25 \mu m$ ,  $\lambda = 1.3 \mu m$ . (a) Oscilaciones en el perfil. (b) Profundidad del hundimiento central. (c) Anchura del hundimiento central. (d) posición del hundimiento lateral.

## ESTUDIO Y MEDIDA DE LA CONSTANTE DE VERDET EN FIBRAS OPTICAS

M.A. MURIEL

Dpto. ELECTRONICA CUANTICA

E.T.S.I. TELECOMUNICACION

Ciudad Universitaria

28040-MADRID

### RESUMEN

La propagación de una radiación linealmente polarizada a través de una fibra óptica ha adquirido una importancia esencial al ser la base de las comunicaciones ópticas coherentes y sensores por fibra óptica. La aplicación de un campo magnético axial provoca un giro de la polarización de salida proporcional al campo aplicado, a la longitud de la fibra y a la constante de Verdet. Este giro de la polarización queda enmascarado por la birrefringencia de la fibra.

### ESTIMACION TEORICA DE LA CONSTANTE DE VERDET.

Cuando una radiación linealmente polarizada atraviesa un material transparente de longitud  $l$ , sometido a un campo magnético axial  $H$ , la polarización de salida tiene girado su plano de polarización, un ángulo que viene dado por

$$\theta = V \int_0^l H dl \quad (1)$$

siendo  $V$  la constante de Verdet. Esta constante viene determinada por las propiedades magnéticas del material sensor. En los materiales diamagnéticos no depende de la temperatura pero es muy pequeña, al contrario de los paramagnéticos. El campo magnético aplicado, interacciona con los electrones externos, modifica la frecuencia de resonancia y por tanto los índices de refracción que "ven" ondas polarizadas circularmente a izquierdas y derechas. El efecto global puede resumirse en una expresión simplificada para la constante de Verdet que viene dada por

$$V = \frac{-e\mu}{2mc} \lambda \frac{\partial n}{\partial \lambda} \quad (2)$$



siendo

$e$  = carga del  $e^-$   
 $m$  = masa del  $e^-$   
 $\mu$  = permeabilidad de la fibra.  
 $c$  = velocidad de la luz en el vacío.  
 $\lambda$  = longitud de onda empleada.  
 $n$  = índice de refracción de la fibra.

Una estimación teórica para el caso de la sílice empleada en fibras nos da el valor de

$$-\lambda \frac{\partial n}{\partial \lambda} = 0.0205$$

para la longitud de onda  $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$  y por tanto

$$V|_{\lambda=0.632 \mu\text{m}} = 0.026 \left[ \frac{1}{\text{A}} \right]$$

#### SISTEMA EXPERIMENTAL

Un laser polarizado, en la dirección  $y$ , de He-Ne ( $\lambda = 0.632 \mu\text{m}$ ) pasa por una lámina  $\lambda/4$  y, por un polarizador rotatable. El haz resultante se enfoca una fibra de índice gradual ( $125 \mu\text{m}$ ), mediante un objetivo de microscopio  $\times 10$ . Esta fibra atraviesa en la dirección  $Z$  las piezas polares de un electroimán diseñado para que el campo magnético sea óptimo en un tramo ( $l_1$ ) de la fibra. La región de la fibra donde se aplica el campo  $H$  dista  $l_0$  de la entrada y  $l_2$  de la salida. La distancia total de la fibra es  $L = l_0 + l_1 + l_2$ . A la salida, un segundo objetivo de microscopio  $\times 10$  enfoca la radiación en un prisma de Wollastrom que separa las polarizaciones  $E_1$  y  $E_2$  que son detectadas, y mediante un circuito electrónico se obtiene a la salida la función  $S$

$$S = \frac{|E_1|^2 - |E_2|^2}{|E_1|^2 + |E_2|^2} \quad (3)$$

donde

$$E_1 = \frac{E_x + E_y}{\sqrt{2}}$$

$$E_2 = \frac{E_x - E_y}{\sqrt{2}}$$

#### MEDIDA DE LA CONSTANTE DE VERDET

Cuando no hay birrefringencia en la fibra, la señal de salida del circuito para una polarización lineal de entrada, será 1,2,3,4

$$S = \sin 2(VHl_1) \quad (4)$$

La birrefringencia enmascara este resultado dando lugar a

$$S = 2|A|B \cos(X + \delta_2) \quad (5)$$

donde

$$\delta_u = \delta_s l_n \quad n=0,1,2 \quad \text{siendo}$$

$$A = \cos \sqrt{(VHl_1)^2 + (\delta_{1/2})^2} + i \frac{\delta_{1/2}}{\sqrt{(VHl_1)^2 + (\delta_{1/2})^2}} \sin \sqrt{(VHl_1)^2 + (\delta_{1/2})^2} \quad (6)$$

$$B = \frac{VHl_1}{\sqrt{(VHl_1)^2 + (\delta_{1/2})^2}} \sin \sqrt{(VHl_1)^2 + (\delta_{1/2})^2} \quad (7)$$

$$X = \tan^{-1} \left( \frac{\delta_{1/2}}{\sqrt{(VHl_1)^2 + (\delta_{1/2})^2}} \tan \sqrt{(VHl_1)^2 + (\delta_{1/2})^2} \right) \quad (8)$$

$\delta_s$  es el retardo de fase por unidad de longitud.

Al ser este retardo de fase  $\delta_s$  mucho mayor que la rotación inducida, la expresión (5) queda reducida a

$$S \approx \frac{4VH}{\delta_s} \sin \delta_s \frac{l_1}{2} \cos \delta_s \left( \frac{l_1}{2} + l_2 \right) \quad (9)$$



Variando  $l_2$  y  $l_1$  se logra medir el valor de la constante de Verdet, que resulta ser  $0.025 [^\circ/\text{A}]$

Para una longitud de onda diferente la variación de  $V$  sigue la del producto  $-\lambda^2/\partial\lambda$ .

#### SENSOR DE CORRIENTES ELECTRICAS DE ALTA INTENSIDAD

En la literatura técnica se describen aparatos que utilizan el efecto Faraday en materiales vitreos, para medir el campo magnético junto a conductores por los que circula una gran corriente. Estos instrumentos tienen el inconveniente de que un tramo bastante grande de la propagación del rayo es en el espacio libre, con las consiguientes atenuaciones y derivas angulares. Si utilizamos un sensor que consista en unas vueltas de fibra alrededor del hilo conductor<sup>5,6</sup> superaremos las pegadas citadas. Se ha realizado un instrumento que tiene 5 vueltas de fibra bobinada alrededor de una forma de 12 cm de radio. La polarización de la fibra se elige de forma que no varíe cuando no circule corriente por el hilo conductor.

#### REFERENCIAS

- 1.- Harms and Feldtkeller, Rev.Sci.Instrum. 44, 742 (1973).
- 2.- Papp and Harms, Appl.Opt., 14, 2406 (1975)
- 3.- Harms, Papp and Kempler, Appl.Opt., 15, 799 (1976).
- 4.- Smith, Appl. Opt., 17, 52 (1978).
- 5.- Papp and Harms, Appl.Opt., 19, 3729 (1980).
- 6.- Smith, SPIE, 236, 352 (1980).

#### CONTROL DEL PERFIL DEL INDICE DE REFRACCION DE UNA FIBRA OPTICA POR MICROSCOPIA DE CONTRASTE DE INTERFERENCIA DIFERENCIAL Y FOTOMETRICA MICROSCOPICA.

M.L. Calvo, J.L. Escudero y E. Bernabeu.

Departamento de Optica

Facultad de Ciencias Físicas

Universidad Complutense de Madrid

#### Resumen

Se presenta un método óptico para la determinación del índice de refracción de una fibra óptica basado en la aplicación conjunta de técnicas de microscopía y fotometría microscópica. Se discuten los fundamentos teóricos del método así como los aspectos técnicos relativos a la preparación de las muestras. Finalmente se muestran los resultados obtenidos por barrido fotométrico en microscopio por transmisión de luz de los negativos obtenidos en microscopio de contraste de interferencia diferencial a partir de las muestras convenientemente preparadas.

#### 1.- INTRODUCCION

Es bien conocido que los métodos ordinarios de observación no son adecuados para obtener información acerca de objetos de fase. Una fibra óptica, puede ser considerada como un objeto de fase bidimensional, al presentar una distribución en gradiente para el índice de refracción en planos transversales al eje de la misma. La forma en la distribución del índice de refracción depende del método utilizado en su fabricación (1). En la actualidad, uno de los problemas de mayor interés en el control de calidad de fibras ópticas está relacionado con una caracterización precisa de la función del índice de refracción que condiciona de forma determinante la geometría del campo confinado y propagado en el interior de la misma, tal como se ha estudiado ampliamente mediante teorías modales, (2) y métodos de aproximación a la óptica geométrica (3). Durante los últimos años se han venido desarrollando de forma activa métodos ópticos no destructivos: a) basados en difracción (4) y b) en interferometría (5). Sin embargo, el comportamiento de una fibra óptica como objeto de fase le confiere una característica importante al poderse servir de técnicas ópticas especiales que permiten detectar las variaciones en la fase de un objeto transparente. El método más potente para la medida de estas variaciones fue introducido por Zernike (1934, 1942) (6), con el cual se utiliza la modulación de la fase del orden cero de difracción producida por un objeto. Zernike demostró que con este método, conocido como de contraste de fase, las variaciones en la fase del objeto se transforman